



## Early Journal Content on JSTOR, Free to Anyone in the World

This article is one of nearly 500,000 scholarly works digitized and made freely available to everyone in the world by JSTOR.

Known as the Early Journal Content, this set of works include research articles, news, letters, and other writings published in more than 200 of the oldest leading academic journals. The works date from the mid-seventeenth to the early twentieth centuries.

We encourage people to read and share the Early Journal Content openly and to tell others that this resource exists. People may post this content online or redistribute in any way for non-commercial purposes.

Read more about Early Journal Content at <http://about.jstor.org/participate-jstor/individuals/early-journal-content>.

JSTOR is a digital library of academic journals, books, and primary source objects. JSTOR helps people discover, use, and build upon a wide range of content through a powerful research and teaching platform, and preserves this content for future generations. JSTOR is part of ITHAKA, a not-for-profit organization that also includes Ithaka S+R and Portico. For more information about JSTOR, please contact support@jstor.org.

## No. XV.

## ESCAPEMENT FOR A TIME-KEEPER.

*The SILVER MEDAL was voted to M. HANRIOT, Director of the "Ecole Théorique et Pratique d'Horlogerie," at Mâcon, in France, for his Escapement for a Time-keeper, in which extremely equal impulses are given to the balance.*

THE following description of the parts, as shewn in Plate III., will, it is hoped, give a clear view of the invention to those practical artists who are not acquainted with the French language. It has, however, been thought proper also, in justice to M. Hanriot, to print his original paper, referring the reader to the drawings in the Society's possession for such particulars as are not contained in the Plate herewith published.

Fig. 1, a horizontal projection of all the parts of the escapement ; fig. 2, a vertical projection of the same ; fig. 3, a perspective view with no support ; fig. 4 shews the escape-wheel locked,—it is in the same position as in figs. 1, 2, and 3 ; fig. 5 shews the wheel in motion, it being unlocked.

In these figures the balance is not regarded : it, of course, must be a compensation one ; therefore, a common one is put merely to occupy the place.

The parts of this escapement are very simple ; but as the several parts about it may confuse, I will name them and their uses, and then explain the action of the escapement.

a the escape-wheel, supported in a perforation, of

which *b b b* is the margin; also in it is placed the springing bar *c c*,—this is both the locking-bar and impulse-spring; *d* is a small cock to support the escape-wheel; *e* the balance; *f* and *g* two parts of the cock made to hold the balance and its spring between them, and all be movable together; at the tail *h* of this cock, and also at the tail *h* of the impulse-spring *c*, are circular disks, movable by a turnscrew; they have notches to engage the pins *h*, as shewn by dotted lines: by turning one, the action of the impulse-spring may be increased or diminished; the other moves the balance, so as to place its axis nearer to or farther from the unlocking-pin *i*, which is fixed close behind the locking-hook in the bar *c*; a small arm projects from the balance-axis towards the pin *i*; it has a roller *j* in its end,—this unlocks and receives the impulse.

In figs. 1 and 2, the spiral spring is shewn attached to the balance by a small arm *k*. This is purposely so placed as to be a counterpoise to the roller *j*; *l* is a stop movable by a turnscrew—it limits the play of the impulse-spring *c*; *m* is a little guard-hook urged by a little slight spring *n*. The locking-bar acts at the circumference of the escape-wheel; but there is an arm *o* attached to it that approaches much nearer to the axis, round which, as near as can be, and under the wheel, are placed three rollers to engage this arm; and on the rim are placed three pallets *p*.

I have now mentioned all the parts, and will proceed to shew the action:—

In fig. 5, the locking-hook at the extremity of the bar *c* is shewn out of use; the bar, therefore, rests against the stop *l*, being urged in that direction by its other springing end. The train is driving the escape-wheel round, as shewn by an arrow; one of its pallets *p* is

therefore proceeding to stop against the locking-hook, but in so doing it would have to raise the locking-bar  $c$ , and slide along it. This would be hard work at the circumference, whilst it may very easily be performed near the axis; therefore, three small rollers  $q q q$  are placed under the wheel in the same radii as the pallets, and the arm  $o$  is added to the locking-bar, so as to be lifted by one of the rollers before the corresponding pallet can touch the locking-bar. Fig. 5 shews this action: a roller  $q$  has just come to the arm  $o$ , and is beginning to lift; thus, the bar  $c$  will retreat before the pallet  $p$ , and not be able to touch it till the pallet comes against the locking-hook, as shewn in fig. 4; here the roller  $q$  is deserting the arm  $o$ , enough to let the spring act on the hook, and keep the locking sure.

I have now shewn the wheel securely locked. For the purpose of unlocking, a pin  $i$  is fixed in the bar, close behind the hook; and on the balance-axis is a roller arm  $j$ , which, when at rest, projects towards the pin and right into its place, so as to push it away just enough to remove the hook and let the pallet escape. In fig. 1, the balance is moving, as shewn by an arrow, and has brought the roller  $j$  close to the pin  $i$ ; and, proceeding on by its momentum, it will push away the pin, and thus remove the hook from the pallet. The escape is then made, and the wheel and balance go on, as in fig. 5, the wheel to be again locked, and then unlocked by the return of the balance. The small guard-hook  $m$ , which in fig. 5 is out of use, is so placed, that at the moment one pallet strikes against the locking-hook, this will fall behind the next pallet, as in figs. 1 and 4, and prevent the possibility of any return of the wheel.

The impulse is given the instant after each unlocking.

In fig. 6,  $e$  is the balance-axis,  $j$  the unlocking-roller, and  $i$  the unlocking-pin. The centre of motion of the locking-bar  $c$  is in the spring at its farther end. This is so placed, that the pin  $i$  shall move as nearly as possible along the dotted line  $i\ e$ , or correctly to and from the balance-axis ; but instead of shewing the fact of the roller  $j$  at different places with respect to the pin, it is easier for this purpose to shew the pin on different parts of the roller. So, let  $i'$  be the place of the pin whilst the wheel is locked : the balance will lose a given portion of its momentum in lifting the pin to  $i$ , at top of the roller, but the pin will give back that exact quantity in descending to  $i''$ ; therefore, all farther descent of the pin will be so much impulse given to the balance ; and this quantity from  $i''$  to  $i'''$ , which is the remainder of the descent, will be a constant and perfect repetition of the same force. The length of the arc  $i''\ i'''$ , through which the impulse shall be given, is adjusted and limited by the stop  $l$ , as in fig. 5, and the strength of the spring's action is adjusted by the pin  $h$  in its tail, fig. 1 ; and by a similar pin  $h$  in the tail of the cock, the exact height is adjusted through which the pin must move to unlock the pallet. Thus we have the locking, unlocking, and quantity of impulse, quite in our power. The next step is to obtain the impulses perfectly equal on the right and left motion of the balance.

In fig. 7, the roller  $j$  is shewn as having pushed the pin  $i$  out as far as it can ; and the places of the roller, close after the right and left impulses, are shewn by dotted circles. The centre  $e$  of the balance, the centre of the roller  $j$ , and of the pin  $i$ , are in one right line ; therefore the pin is at the neutral or dead point, in which it has no action ; and this will be the neutral point, let the

other end of the locking-bar  $c$  be where it may. And it is evident, that the measures from the tops of the two dotted circles to the lowest place of the pin between them are perfectly equal, and the impulses would be perfectly equal did the pin  $i$  move in a right line ; and though in practice we do not obtain this, we can have what is as good, therefore we may obtain perfectly equal impulses. The upper dotted line  $c$  represents a part of the locking-bar when pushed quite out, and the lower dotted line  $c'$  the same when quite down, after giving the impulse.

It is evident, that the farther the centre of motion is, so much nearer will the short arc through which the pin moves be to a right line. Let that centre be so put that the highest and lowest places of the pin shall be exactly in the line  $i\ e$ , then the measure of the whole impulses, right and left, will be quite equal ; but as the pin  $i$  moves in a very slight curve, it goes a very little out of the line when the wheel is locked, so the roller must go a small quantity farther that way before it touches the pin, leaving a less arc of motion for it to unlock, then a longer one for the pin to descend so much, and then a shorter one to finish the impulse ; and on the return of the roller, these measures will be exactly reversed. Now, the difference expected to result from this may be only apparent, not real ; but, instead of settling this question, it will be best to shew how it may be removed if it does exist. Place one leg of a compass on the pin when farthest out (as here shewn), and draw a curve, like  $r\ s$ , exactly through the locking-bar's centre of motion. Now, it is evident, that moving the centre along that curve will not alter the upper place of the pin ; but if the centre is lowered on that curve, it will move the lowest place of the pin off the right line  $i\ e$  to the left, and raising the centre will

move the pin's lowest place off to the right. Hence, it is evidently in our power to alter the descent of the pin, till its effect on the balance both to right and left shall be perfectly equal.

If this escapement is kept in one position, there is little doubt that the impulses transmitted to the balance by means of the spring *c* will be extremely uniform, independently of the change of temperature. But when the position is variable, it may be objected, that according to the position so will the weight of the impulse-spring increase or diminish its effect. This may be avoided by the means shewn in fig. 8. Here the locking-bar *R* has no springing part; the spring is in another bar *R'*, with an adjusting weight *M*, and placed in a contrary direction, so that the weights of both shall be equal and contrary, and thus neutralise each other.

It may here be stated, that in some instances the locking-bar has been placed parallel to the balance-axis, with a view to make the right and left impulses perfectly alike and equal; but it introduces the lateral weakness of the spring or bar, from which the impulses are liable to be less distinct and certain.

---

*Description d'Echappement à Force Constante de  
M. Hanriot.*

LE dessin dont je vais donner l'explication représente l'échappement tel que je l'appliquai d'abord aux montres marines. Quoique depuis j'aie apporté quelques changemens à sa construction, je me servirai néanmoins de ce dessin pour expliquer le jeu du mécanisme, et je ferai

connaître ensuite les modifications que j'ai cru devoir apporter à cet échappement dans la dernière montre que j'ai confectionnée.

La fig. 1 représente la projection verticale de tout le mécanisme de l'échappement, comprenant la fausse platine qui le porte, la roue d'échappement, le ressort d'impulsion, le balancier muni de son spiral, et les divers ponts servant à assujettir les pièces auxquelles doit être imprimé un mouvement de rotation,—tels sont, la roue d'échappement, le balancier, et un petit ressort de sûreté ou cliquet dont je parlerai lorsque l'explication l'exigera.

Le même mécanisme est représenté en projection horizontale par la fig. 2.

Pour laisser mieux apercevoir le jeu et la construction de cet échappement, j'ai enlevé successivement les pièces qui pouvaient gêner la vue de celles qui sont interposées entre elles et la fausse platine, ce qui m'a conduit aux quatre nouvelles projections horizontales (figs. 3, 4, 5, et 6).

Les fig. 3 et 4 représentent le mécanisme dépourvu de ses ponts ; et les fig. 5 et 6, le même mécanisme dépourvu de ses ponts et du balancier.

Enfin, dans la vue de faciliter l'explication, j'ai représenté en perspective, par la fig. 7, et dans leurs positions relatives, les pièces principales, telles que le balancier, la roue d'échappement, et le ressort d'impulsion. Quant aux autres figures, elles présentent des détails relatifs à chacune de ces pièces principales,—détails dont je parlerai à fur et à mesure que l'explication l'exigera.

Je commencerai par considérer les fig. 11 et 12, présentant, la première, la projection verticale du balancier, et la seconde, la projection horizontale. Je ferai remarquer que la tige du balancier porte à son extrémité inférieure, près du pivot, une petite pièce en forme de levée, laquelle

reçoit, dans une échancrure pratiquée à son extrémité, un petit rouleau mobile, et dont l'axe, comme il est facile de le voir, est vertical, c'est-à-dire, parallèle à l'axe du balancier. Or c'est sur ce rouleau qu'agit le ressort d'impulsion, lequel doit imprimer au balancier des oscillations parfaitement uniformes, comme on sera bientôt à même de le juger.

Les fig. 15 et 16 représentent, en projection horizontale et verticale, le ressort d'impulsion. La seule inspection de ces figures fait comprendre qu'à l'extrémité de ce ressort est pratiqué une espèce de petit crochet, très peu saillant, et qu'en ce même endroit est fixée une cheville dont la position est verticale, laquelle en conséquence se meut parallèlement à elle-même lorsque le ressort joue ; en un mot, son mouvement est celui d'une génératrice décrivant la surface d'un cylindre droit à base circulaire (j'insiste sur la nature de ce mouvement pour une raison que l'on appréciera plus tard). C'est par l'intermédiaire de cette cheville que le ressort agit sur le petit rouleau dont j'ai parlé plus haut, et par suite communique au balancier son mouvement oscillatoire.

Quant au petit crochet réservé à l'extrémité de ce ressort, il sert, comme on peut le juger par la fig. 5, à tenir en arrêt la roue d'échappement ; en effet, l'inspection des fig. 9 et 10, présentant, la première la projection horizontale, et la seconde la projection verticale de la roue d'échappement, fait voir que sur le champ de cette roue sont fixées trois petites palettes ou levées, lesquelles en s'engageant (fig. 5) dans le crochet pratiqué à l'extrémité du ressort, s'opposent au mouvement de la roue. (Il doit être inutile, d'après cette explication, d'ajouter que le ressort doit être tendu de manière à presser contre la roue d'échappement, et non pas de manière à agir dans le

sens opposé.) Il suit de là que réciproquement le ressort est maintenu dans la position représentée par la fig. 5 par la roue d'échappement, et que sans la présence de celle-ci, ou du moins, des levées ou palettes dont elle est munie, le ressort, par son effet élastique, tomberait dans une position telle que le représente la fig. 6, contre une pièce *a*, destinée à limiter l'étendue de son jeu. On remarque, que dans cette pièce *a* est pratiquée une petite rainure, comme celle que l'on pratique sur une tête de vis, et dans laquelle introduisant une tourne-vis, et tournant à gauche ou à droite, on augmente ainsi ou diminue à volonté l'étendue du jeu du ressort. La forme des trois petites palettes fixées sur le champ de la roue d'échappement, et celle du crochet du ressort, font juger facilement que la roue d'échappement tourne à gauche et non à droite.

Je suppose (fig. 5) qu'on lève le ressort d'une quantité suffisante pour laisser dégager la petite palette de la roue d'échappement, laquelle se trouvait engagé dans le crochet de ressort, la roue, devenue libre, tournera; et si dans le même instant où ce dégagement a lieu, on abandonne le ressort à lui-même, il se dirigera vers l'appui dont j'ai parlé plus haut, et l'état du système, dans l'instant dont je parle, sera représenté par la fig. 6, dans laquelle la roue d'échappement effectue son tiers de révolution tandis que le ressort se dirige vers son appui.

Pour remplir, comme on le verra bientôt, le but que je me suis proposé, il est nécessaire que la roue d'échappement relève elle-même le ressort pour le ramener dans sa position primitive, afin qu'elle puisse s'engager de nouveau dans le crochet pratiqué à cet effet; or, la palette *p* (fig. 6) lorsqu'elle viendra frapper contre le ressort, pourrait le lever, glisser contre lui, puis s'engager dans le crochet. Mais parmi les inconvénients que présentera

ce moyen de remettre le ressort et la roue d'échappement dans leur premier état, l'un des plus graves, comme on peut le juger, serait d'exiger, de la part de la roue d'échappement, beaucoup de force ; or, on évite ces inconvénients en fixant sur le ressort une longue levée (voyez ses projections horizontale et verticale, en  $a$  et  $a'$ , fig. 15 et 16), et en plâçant sur les barrettes de la roue d'échappement, et le plus près possible de l'axe, trois petits rouleaux, dont l'effet est de relever le ressort : on conçoit en effet, en examinant la fig. 6, que l'un de ces rouleaux se présentant contre la levée fixée au ressort, releva ce dernier, et le ramènera dans la position indiquée par la fig. 5. Il est clair que la forme de cette levée, à son extrémité, devra être telle que le ressort ne soit pas levé plus qu'il le faut, pour que la petite palette  $p$  ne soit pas gênée dans sa course, et qu'elle ne touche le ressort qu'à l'instant où elle vient s'engager dans son crochet.

Tout ce qui précède étant bien entendu, examinons actuellement la fig. 3 dans laquelle le petit rouleau du balancier est en contact avec la cheville fixée sur le ressort d'impulsion. Si l'on imprime au balancier un mouvement de rotation de droite à gauche, le rouleau, pour effectuer son passage entre l'axe du balancier et la cheville, va nécessairement éloigner celle-ci, et en conséquence lever le ressort ; si donc la longueur de la levée du balancier portant le rouleau est telle que le ressort ne soit levé que de la quantité nécessaire pour laisser effectuer le dégagement de la roue d'échappement, ce dégagement alors aura lieu lorsque le centre du rouleau  $z$  (voyez la figure ci-dessus) sera sur la ligne  $oo'$  menée par le centre  $o$  du balancier, et le centre de la cheville  $a'$ . La roue d'échappement ne s'opposant plus ainsi à la descente du ressort jusqu'au sur son appui, et le balancier, par la force qui lui a été

communiquée, continuant son mouvement de  $m$  en  $n$ , va nécessairement recevoir, de la part de la cheville  $a'$ , une impulsion ; car cette cheville, pressant contre le rouleau, le chassera dans le sens  $mn$  jusqu'au moment où, étant venue dans la position  $a''$ , où elle est tangente au rouleau suivant un point de la ligne  $o''z$  qui joint le point d'inflexion  $o''$  du ressort au centre  $z$  du rouleau, elle cessera alors d'agir sur ce dernier, et en conséquence sur le balancier.

Remontons à l'instant où la cheville occupait, par rapport au rouleau, la position  $a$ ; (c'est la position représentée par la fig. 3) pendant le passage de la cheville de la position  $a$  à la position  $a'$  (fig. ci-dessus), à laquelle s'effectue le dégagement de la roue d'échappement; le rouleau, et par suite le balancier, a dû éprouver, par l'effet de la pression de la cheville, qu'il a dû vaincre une certaine résistance ; mais la cheville, à son tour, en passant de la position  $a'$  à la position  $a''$ , parfaitement symétrique à  $a$  par rapport à  $a'$ , a dû restituer au balancier une force égale à celle que préalablement elle lui avoit fait perdre ; en sorte que toute l'action de la cheville, de la position  $a''$  à la position extrême  $a''$ , est la mesure de l'impulsion réellement ajoutée à celle qui avait été primitivement transmise au balancier.

Les effets dont je viens de parler, en dernier lieu, ont eu lieu assez instantanément, pourqu'ils soient entièrement effectués lorsque le rouleau de la roue d'échappement se présente contre la levée fixée au ressort d'impulsion pour le ramener dans sa première position ; mais ce dernier effet, à son tour, a tout le temps nécessaire pour s'effectuer pendant que le balancier achève son oscillation de droite à gauche ; son spiral le ramenant, les mêmes effets se reproduisent, mais en sens inverse, et ainsi de suite. La

fig. 4 représente le système dans le moment où le balancier, achevant son oscillation, le rouleau de la roue d'échappement se présente pour relever le ressort.

J'ai dit précédemment que le petit crochet établi à l'extrémité du ressort d'impulsion devait être très peu saillant ; et l'on doit prévoir en effet, que plus il sera saillant, plus l'arc  $n\ n'$  ou  $n'\ n''$  qui doit parcourir la cheville sur le rouleau pour effectuer le dégagement de la roue d'échappement, sera grand, et plus en conséquence l'arc  $n''\ n'''$  sera petit ; d'où il suit que l'impulsion réelle communiquée au balancier sera moindre. On doit donc donner à ce crochet le moins de saillie possible ; l'essentiel est, qu'il en ait assez pour offrir de la sûreté dans les effets pour lesquels il est destiné, effets qui consistent dans l'engagement et le dégagement de la roue d'échappement.

Il ne doit pas être nécessaire d'observer, qu'il est inutile, et qu'il serait même mal entendu, de disposer l'appui  $a$  (fig. 6) du ressort d'impulsion de manière à ce que la cheville pût descendre au-dessous de la position  $a''$  (fig. ci-dessus) ; puis qu'arrivée en  $a''$ , son effet sur le rouleau, à partir de cette position, devient nul ; et que ce serait alors accroître tout-à-fait inutilement l'effort qu'a à surmonter la roue d'échappement lorsqu'elle doit relever le ressort.

Si, malgré l'explication précédente, on était dans quelqu'incertitude sur la disposition des pièces principales les unes à l'égard des autres, il suffirait, pour détruire ce doute, d'examiner la perspective (fig. 7), d'après laquelle, à mon avis, on doit prévoir tous les effets dont je viens de donner la description ; la position relative du balancier, du ressort d'impulsion, et de la roue d'échappement, dans cette figure, est la même que celle représentée par la fig. 3.

L'expérience m'a appris que lorsque la roue d'échappement relève le ressort, le choc de la petite palette de cette roue contre le crochet du ressort est assez considérable pour faire rétrograder la roue d'échappement; et selon que ce recul est plus ou moins grand, il en résulte ou interruption dans la marche de la pièce, ou des grandes inégalités dans les impulsions communiquées au balancier. Or, l'objet du petit cliquet dont *c* et *c'* sont les projections horizontale et verticale (fig. 9 et 10), est d'empêcher cet effet; il est sollicité par un petit ressort très faible, qui tend constamment à diriger contre la roue d'échappement le petit crochet qui est réservé à l'une de ses extrémités. On prévoit, sans doute, que la palette de la roue d'échappement, en glissant contre le plan incliné de ce crochet, lève le cliquet, puis s'engage dans son crochet, dans le même moment que la palette suivante s'engage dans le crochet du ressort d'impulsion.

En examinant attentivement les projections verticales et horizontales de la machine dont je donne la description, on s'apercevra facilement que dans la fausse-platine est pratiquée de part en part une ouverture dans laquelle sont logés la roue d'échappement, le petit cliquet dont je viens de parler, et le ressort d'impulsion.

On pourra juger aussi facilement que le pont du balancier est composé de deux parties *P* et *P'* (fig. ci-dessus), fixées l'une à l'autre; que la goupille *g* (fig. 2), descend dans l'éencoche *e* de la pièce *e* (fig. 3), laquelle pièce est noyée dans la platine, et y est ajustée à frottement, de sorte qu'en la faisant tourner à gauche ou à droite, à l'aide d'un tourne-vis, on éloigne ou rapproche à volonté le balancier de la cheville du ressort d'impulsion; on remarquera que le même moyen est employé pour tendre ou détendre à volonté ce dernier. La pièce *o*,

mobile entre le pont P et la plaque en acier p, entre lesquels elle est ajustée à frottement, sert à fixer l'extrémité supérieure du spiral, laquelle extrémité, étant introduite entre les parties o et o', y est serrée par une vis v. La mobilité de cette pièce o permet de la disposer de manière à ce que lorsque le balancier est tenu en repos par son spiral, le centre du rouleau, dans cette position de repos, se trouve exactement sur la ligne qui joint le centre du balancier au centre de la cheville du ressort d'impulsion, circonstance qui doit être observée si l'on veut éviter que l'échappement soit ce que l'on appelle *boiteux*.

Si la montre, ou plus généralement, si la pièce à laquelle serait adapté ce genre d'échappement, doit rester constamment dans une même position, je ne pense pas que l'on puisse douter que les impulsions transmises au balancier par le ressort soient parfaitement uniformes, en ne mettant pas en considération, toutefois, l'effet que peut produire une changement de température sur l'élasticité d'un ressort, effet qui, s'il existe réellement, me paraît inévitable, mais qui, d'ailleurs, peut être regardé comme insensible. L'échappement, dans cette hypothèse, serait donc réellement à force constante.

Mais si la position de la pièce doit être variable, alors on objectera avec raison, que selon cette position, le poids du ressort d'impulsion s'ajoutera à son effet élastique, ou le diminuera d'autant, ce qui rendra bien sensiblement variables les impulsions transmises au balancier. Or je pense avoir levé entièrement cette difficulté dans la dernière montre que j'ai faite, en substituant au simple ressort représenté sur le dessin celui dont je vais donner la description.

Le ressort R, celui qui transmet les impulsions au balancier, n'est plus, comme dans le premier cas, flexible

en K et fixe en  $o\alpha$ ; il n'a plus de partie flexible, et n'est plus, à proprement parler, autre chose qu'un levier mobile autour d'un axe dont  $\alpha$  est le centre; il est mu en  $o$  par un ressort  $R'$ , aussi mobile sur un axe C, et flexible ou élastique en  $b$ ; l'objet de l'axe C est de permettre de tendre à volonté le ressort  $R'$  par le moyen de la vis V.

On conçoit d'après cette disposition, que si la pesanteur agit dans le sens  $mr$ , par exemple, et tend par conséquent à diminuer l'effet du levier R, qui tend à se mouvoir dans le sens  $xx'$ , elle agira en même temps sur le ressort R, en augmentera l'effet, et il pourra se faire que ce surcroît de force, en agissant en  $o$  sur le levier R, restitue à celui-ci la force qu'il aura perdue par l'effet de son poids. Si, au contraire, la pesanteur agit dans le sens  $mr'$ , elle sera favorable à l'effet du levier R, mais elle sera en même temps défavorable à l'effet du ressort  $R'$ ; celui-ci agira donc en  $o$ , sur le levier, avec une moins grande intensité, et il pourra encore arriver que le surcroît de force qu'aura acquis le levier R par son poids, se trouve détruit par l'affaiblissement qu'aura éprouvé en même temps le ressort  $R'$ . On conçoit donc qu'il peut se faire, qu'en disposant et construisant convenablement le ressort et le levier, la compensation, quant aux effets dûs à la pesanteur, se trouve être parfaitement établie; et ce sont les conditions à observer pour arriver à cette compensation que je me propose de rechercher.

Je ferai d'abord remarquer, que la pointe  $o$  de la vis V, tendant à décrire un arc de cercle du rayon  $bo$ , on rendra aussi petit que possible le frottement de la pointe  $o$  de cette vis contre la partie  $oa$  du levier, en dirigeant la surface  $oa$  suivant la droite  $ba$ , menée par les deux centres de mouvement  $b$  et  $\alpha$ ; et il arrivera en même temps que le ressort  $R'$  transmettra au levier R tout

l'effet dont il est capable, puisque cet effet peut être assimilé à une force dont la direction serait  $oy$  perpendiculaire à  $ob$ , et par conséquent normale à la surface  $oa$ .

Cela posé, soient  $c$  et  $c'$  les centres de gravité du levier  $R$  et du ressort  $R'$ ,  $P$  et  $P'$  leurs poids respectifs (je suppose détachée du ressort  $R'$  la partie  $bg$ ) : ces poids peuvent être considérés comme des forces parallèles, ayant leurs points d'application aux centres de gravité  $c$  et  $c'$ . Notre but étant d'arriver à donner à toutes les parties du système une disposition telle que leur poids n'exerce aucune influence sur l'action du levier  $R$  sur le balancier, il faut que, dans toutes les positions de la machine, les poids  $P$  et  $P'$  se fassent constamment équilibre ; nous nous bornerons donc à rechercher les conditions auxquelles est soumis cet équilibre sans nous inquiéter de la force élastique du ressort  $R'$ , force qui reste constante quelle que soit la position de la machine.

Désignons par  $y$  une force qui, appliquée dans la direction  $ov$  perpendiculaire à  $ob$ , serait capable de mettre en équilibre le poids  $P'$  du ressort  $R'$ , lequel poids agit dans la direction  $cs$  ; si l'on mène du centre de mouvement  $b$ ,  $bn$  perpendiculaire à la direction  $cs$  de la force  $P'$ , on aura, d'après la propriété comme des moments,

$$y \times bo = P' \times bn; \text{ d'où } y = \frac{P' \times bn}{bo}$$

En supposant que l'équilibre dont nous recherchons les conditions ait réellement lieu, la même force  $y$ , étant supposée agir dans un sens directement opposé, c'est-à-dire, de  $o$  en  $t$ , devra faire équilibre au poids  $P$  du levier  $R$  ; et en menant du centre  $a$ ,  $am$  perpendiculaire à  $cr$ , direction de la force  $P$ , on a, d'après la même propriété,

$$y \times ao = P \times am; \text{ d'où } y = \frac{P \times am}{ao}$$

Ces deux expressions de  $y$  devant être égales, on a l'équation

$$\frac{P \times am}{ao} = \frac{P' \times bn}{bo}$$

ou, en chassant les dénominateurs,

$$P \times am \times bo = P' \times bn \times ao$$

Divisant les deux membres par  $P' \times am \times bo$ , il vient,

$$\frac{P}{P'} = \frac{bn \times ao}{am \times bo}, \dots \dots \dots \text{(A)}$$

Il est facile de voir, que si la pesanteur agissait dans le sens  $c's'$  directement opposé à  $c's$ , les calculs relatifs à l'équilibre de  $P$  et  $P'$  servent exactement les mêmes que les précédents ; en effet, le poids  $P'$  produirait en  $o$  sur le ressort  $R'$  un certain affaiblissement qui pourrait être assimilé à une force  $y$  agissant de  $o$  en  $r$ ; et comme  $P'$ ,  $bn$ ,  $bo$ , sont les mêmes que dans le cas précédent, il en est de même de l'expression de cette force  $y$ . Ainsi, puisque dans le premier cas  $y$  agissant suivant  $ot$ , faisait équilibre à  $P$  agissant suivant  $cr$ , ces deux mêmes forces, agissant dans un sens directement opposé et aux extrémités des mêmes leviers  $ao$ ,  $am$ , se feront encore équilibre, et cet équilibre sera exprimé par la même équation. Donc les calculs relatifs à l'équilibre de  $P$  et  $P'$  restent exactement les mêmes, soit que la pesanteur agisse de  $c$  en  $r$ , soit qu'elle agisse dans un sens directement opposé, c'est-à-dire, de  $c$  en  $r'$ .

Donnons donc à la pesanteur une direction quelconque  $cr''$ , différente de la première : les forces parallèles  $P$  et  $P'$  ne cesseront pas d'avoir leurs points d'application aux centres de gravité  $c$  et  $c'$ . Menons donc, des centres de mouvement  $b$  et  $a$ , les droites  $bn'$ ,  $am'$ , perpendiculaires aux directions de ces forces, et désignons par  $y'$  une force qui, appliquée en  $o$  dans la direction  $or$ , mettrait en

équilibre le poids  $P'$  du ressort  $R'$ , lequel poids agit dans la direction  $c's''$ ; on aura toujours, d'après la propriété des moments,

$$y' \times b o = P' \times b n'; \text{ d'où } y' = \frac{P' \times b u'}{a_0}$$

La même force  $y'$  étant supposée agir dans le sens opposé, c'est-à-dire, de  $o$  en  $t$ , devra, d'après le but de nos recherches, faire équilibre au poids  $P$  agissant dans le sens  $cr''$ , d'où résulte l'équation

$$y' = a_0 = P \times am'; \text{ d'où } y' = \frac{P \times am'}{a_0}$$

Egalant ces deux expressions de  $y'$ , et chassant en même temps les dénominateurs, il vient

$$P \times am' \times bo = P' \times bn' \times ao$$

d'où, en divisant les deux membres par  $P' \times a m' \times b o$ ,

La comparaison des équations (A) et (A') conduit à celle-ci :

$$\frac{bn \times ao}{am \times bo} = \frac{bn' \times ao}{am' \times bo}$$

ou, en supprimant le facteur  $\frac{ao}{bo}$  commun aux deux membres,

$$\frac{b}{a} \frac{n}{m} = \frac{b}{a} \frac{n'}{m'}$$

d'où résulte la proportion

$b\ n:am :: b\ n':am'$

Ainsi, nous reconnaissons déjà cette première condition, qui, quelle que soit la position de la machine à l'égard de la direction de la pesanteur, il faut qu'il existe entre les perpendiculaires  $bn$ ,  $am$ ,  $bn'$ ,  $am'$ , abaissées des points fixes, ou centres de mouvements  $b$  et  $a$ , sur les directions

des verticales menées par les centres de gravité  $c$  et  $c'$ , la relation

$$bn : am :: bn' : am'$$

Or, cette condition sera satisfaite lorsque les droites  $ac, bc'$ , menées par les centres de mouvement et les centres de gravité, seront parallèles ; en effet, les droites  $am, bn$ , étant déjà parallèles, ainsi que  $cm$  et  $c'n$ , les triangles  $bnc', amc$ , seront semblables, et donneront

$$bn : am :: bc' : ac$$

Les triangles  $bc'n', acm'$ , se trouvant aussi être semblables, comme ayant leurs côtés respectivement parallèles, donneront

$$bn' : am' :: b\sigma' : ac$$

d'où il résulte, en comparant ces deux proportions,

$$bn : am :: bn' : am'$$

Mais cette condition n'est pas la seule qui soit indispensable ; car nous avons vu plus haut qu'il fallait encore qu'il existât entre  $P$  et  $P'$  la relation

$$\frac{P}{P'} = \frac{bn \times ao}{am \times bo} = \frac{bn}{am} \times \frac{ao}{bo}$$

Or, comme d'après une des proportions précédentes, on a  $\frac{bn}{am} = \frac{bc'}{ac'}$ , il en résulte, en substituant,

$$\frac{P}{P'} = \frac{bc'}{ac'} \times \frac{ao}{bo} = \frac{bc' \times ao}{ac' \times bo}$$

d'où l'on tire,  $P : P' :: bc' \times ao : ac \times bo$

Concluons donc enfin, que pour que l'effet exercé par le ressort d'impulsion sur le balancier soit constant, quelle que soit la position de la montre, il faut que les centres de gravité du ressort et du levier soient situés sur des lignes droites parallèles menées par les points

fixes ou centres de mouvement  $a$  et  $b$ , et qu'ils soient à des distances  $ac$ ,  $bc'$  de ces centres, telles que le produit de  $bc'$  par  $ao$  soit au produit de  $ac$  par  $bo$  comme le poids  $P$  du levier  $R$  est au poids  $P'$  du ressort  $R'$ .

Je pense que l'un des moyens les plus simples et les plus sûrs d'arriver à remplir ces conditions dans la pratique, est de faire d'abord le levier  $R$  sans s'inquiéter ni de son poids ni de la position de son centre de gravité, faire également le ressort  $R'$  sans avoir égard à son poids, mais le munir d'une petite masse  $M$  mobile le long de ce ressort, et pouvant y être fixée en tel point qu'on le jugera convenable à l'aide d'un vis; cela fait, on donnera à cette masse une position telle que la condition exprimée par la relation  $\frac{P}{P'} = \frac{bc' \times ao}{ac \times bo}$  soit remplie: et à l'aide de la vis  $V$  et de la facilité que l'on peut se réserver de changer à volonté la position du point  $b$ , en le mettant sur l'un ou l'autre des points de l'arc de cercle  $zz'$ , décrit de  $o$  comme centre avec le rayon  $ob$ , il sera facile de satisfaire à la seconde condition, qui consiste dans le parallélisme des droites  $ac$ ,  $bc'$  joignant les points  $a$  et  $b$  aux centres de gravité  $c$  et  $c'$  (ce moyen est celui que j'ai employé.)

J'observerai cependant en que la compensation que je me suis forcé d'établir relativement à l'influence des poids du levier et du ressort, ne sera réellement vraie et possible que pour une même position de toutes les parties de la machine, les unes à l'égard des autres; c'est-à-dire, que si la compensation a été établie pour la position des parties de la machine correspondante à l'arrêt du levier  $R$  contre la roue d'échappement, elle ne pourra avoir lieu très exactement que pour cette seule position d'arrêt, puisque cette position est la seule dans laquelle les

droites  $ac$   $bc'$  pourront être parallèles; en effet, soient  $e, e', e''$ , les espaces ou arcs que parcourront les points  $c', o$ , et  $c$ , pendant le mouvement qu'aura pu prendre tout le système; on aura,

$$e : e' :: bc' : bo, \text{ et } e' : e'' :: ao : ac$$

d'où, en multipliant terme à terme,

$$e : e'' :: bc' \times ao : bo \times ac$$

Or, pour que le parallélisme des droites  $ac$ ,  $bc'$  put encore avoir lieu après que les points  $c$  et  $c'$  ont décris les arcs  $e$  et  $e''$ , il faudrait évidemment que l'on eut

$$e : e'' :: bc' : ac$$

d'où il résulterait, en comparant cette proportion à la précédente,

$$\frac{bc' \times ao}{bo \times ac} = \frac{bc'}{ac}$$

ou

$$bc' \times ao \times ac = bc' \times bo \times ac$$

ou, enfin,

$$ao = bo$$

ce qui ne peut avoir lieu en ce que le point  $o$  doit être pris très voisin du point  $a$ , et beaucoup plus pris de  $a$  que peut l'être le point  $b$  (car je dois avouer, à cette occasion, que je dois l'idée de l'emploi du double ressort à l'espoir de rendre beaucoup plus uniforme le jeu du premier ressort, ou levier R, en faisant  $ao$  très court relativement à  $bo$ ; et c'est à cette première idée que je dois celle de la compensation des poids des ressorts).

Je conclus donc que la compensation n'est parfaite que pour une même position de toutes les parties du système, les unes à l'égard des autres. Il sera bien de faire en sorte que la position pour laquelle aura été établie la parfaite compensation soit celle correspondante au milieu,

environ de l'action du levier R sur le balancier, c'est-à-dire, le milieu de l'arc que décrit un point de la cheville de ce ressort, pendant toute la durée de son action sur le rouleau du balancier ; et cette position peut être sensiblement regardée comme celle correspondante à l'arrêt du levier R contre la roue d'échappement. Peut-être trouvera-t-on que je me suis trop étendu sur la construction de ce double ressort ; mais j'ai cru ne devoir avancer aucun fait sans en donner une démonstration mathématique.

Si, dans le dessin que je donne de mon échappement, on substitue au simple ressort celui dont je viens de donner une si longue description, on aura une idée exacte de cet échappement tel que je viens de le faire en dernier lieu, en observant toutefois le changement que j'ai apporté dans la position du ressort ; sa longueur, au lieu d'être dirigée dans le sens de la platine, comme le représente le dessin, est perpendiculaire à cette dernière, c'est-à-dire, parallèle à l'axe du balancier. (Voyez fig. A, ci-dessus.)

Mon but, en donnant au ressort d'impulsion cette position, était d'éviter un effet que je vais décrire : examinons pour cela la fig. B, dans laquelle je donne au ressort la position dans laquelle le représente le dessin général.

a et  $a''$  étant les positions de la cheville correspondante à l'arrêt du ressort contre la roue d'échappement, on voit que  $o o'$  et  $o'' o'''$  seront, d'après ce que j'ai dit en expliquant le jeu de cet échappement, la mesure des impulsions transmises au balancier, selon qu'il tourne à droite ou à gauche,  $\alpha v$  et  $\alpha'' v'$  étant les arcs de cercle que parcourt la cheville dans son mouvement. Or,  $a'$  étant le point suivant lequel une droite menée par le centre de mouvement c du ressort, serait tangente à la circonference  $o a o''$  du rouleau, et les arcs  $a a'$ ,  $a a''$  étant égaux, les segments  $o o'$ ,  $o'' o'''$  du

diamètre  $oo''$  sont nécessairement inégaux ; d'où il suit, que les impulsions données dans un sens ne sont pas égales à celles qui sont données dans l'autre sens.

Dans la nouvelle position que j'ai donnée au ressort (fig. A), la cheville  $c$  ne décrit plus la surface d'un cylindre, mais se meut dans un plan passant par l'axe du balancier,  $\alpha\nu$  et  $\alpha''\nu'$ , fig. B, deviennent donc alors des arcs de cercle dont les plans sont parallèles au premier, et en sont équidistants ; donc, dans ce cas,  $oo'=o''o'''$ . J'évite donc ainsi le petit inconvenient dont je viens de parler ; mais en même temps j'en rencontre un autre ; car on doit pressentir que par cette disposition, fig. A, un point quelconque de la cheville ne se mouvant plus dans un plan perpendiculaire à l'axe du balancier, ce point s'élève ou s'abaisse sensiblement par rapport à ce plan ; d'où il suit que la cheville exerce sur le rouleau du balancier un léger frottement.

Dans tous les cas, je considère comme de fort peu d'importance les deux circonstances dont je viens de parler ; et je ne pense pas, en définitive, que l'une de ces dispositions soit de beaucoup préférable à l'autre.

Enfin, pour rendre réellement invariable la marche de la pièce à laquelle serait adapté cet échappement, quelle que soit la température à laquelle elle pourrait être soumise, il ne s'agit plus que de rendre le balancier *compensateur* ; or, je crois y être parvenu très simplement de la manière suivante.

$c$  et  $a$  (fig. 12) sont deux barres, ajustées diamétralement sur une assiette fixée sur l'axe du balancier, et retenues sur cette assiette au moyen de vis. Ces deux barres, dont la première  $c$  (celle qui est au-dessus) est en cuivre, et la seconde  $a$  en acier ou en platine, sont représentées en projection verticale et horizontale ; la première

par la fig. 13, et la seconde par la fig. 14. Aux extrémités de ces deux barres sont ajustées deux branches circulaires, dont la fig. 8 présente les projections. Cet ajustement, qui doit être très bien fait, soit par le moyen de chevilles ou pivots, soit par le moyen de vis, doit permettre à ces pièces de jouer, ces chevilles ou vis étant les centres de mouvement. On remarque que chacune de ces branches circulaires porte une masse  $M$ , fig. 12, laquelle peut glisser à volonté, et être arrêtée en tel point qu'on le juge convenable, à l'aide d'une petite vis de pression. Chacune de ces masses  $M$  (fig. ci-dessus) porte une vis, dont la tête, très grosse, fait elle-même l'office de masse ; en sorte qu'en rapprochant ou éloignant cette vis de l'axe du balancier, on rapproche ou éloigne de ce même axe le centre d'oscillation du système, ce qui, en rendant les oscillations plus ou moins promptes, permet de régler la pièce. Il a été placé dans les mêmes vues une seconde vis  $M'$  (fig. ci-dessus), que l'on a omis représenter sur le dessin.

Supposons que la température à laquelle est soumise cette machine vienne à augmenter, le diamètre  $c$  (fig. 12), qui est en cuivre, se dilatera plus que le diamètre  $a$ , qui est en acier ou en platine ; d'où il suit nécessairement que les extrémités des branches circulaires rentreront, c'est-à-dire, se rapprocheront de l'axe du balancier ; si, au contraire, la température diminue, les effets inverses auront lieu, c'est-à-dire, que le diamètre en cuivre  $c$  se contractant plus que l'autre  $a$ , les extrémités des mêmes branches circulaires s'éloigneront de l'axe du balancier. On conçoit donc qu'en disposant convenablement les masses  $M$ , et mettant entre les deux centres de mouvement  $o$  et  $o'$  (fig. 13) un intervalle convenable, on doit arriver à rendre invariable la distance du centre d'oscillation du système

à l'axe du balancier, quelle que soit la température à laquelle puisse être exposée la machine.

Cette disposition réunit à l'avantage d'une grande simplicité celui de permettre une grande uniformité dans les effets de dilatation, c'est-à-dire, que cet effet doit être parfaitement le même pour les deux branches circulaires ; d'où il suit que l'inertie qui doit être établie entre les diverses parties de ce système ne peut être rompue ; ce que l'on n'obtient pas aussi facilement quand les effets de compensation sont dûs à l'assemblage de deux lames métalliques superposées et différemment dilatables, moyen que l'on emploie généralement.

Le spiral est attaché au balancier par le moyen de la pièce *d*, fig. 11 et 12, fixée sur l'axe du balancier ; aussi remarque-t-on qu'une petite fente est faite à son extrémité pour recevoir le spiral. On observe que cette pièce est dans une position à pouvoir faire équilibre au poids de la levée portant le petit rouleau du balancier, et qu'ainsi ces deux pièces ne peuvent avoir aucune influence sur l'inertie du balancier. (J'entends par *inertie*, l'équilibre qui doit être établi entre les poids des diverses parties composant le balancier, lorsqu'il repose sur les pivots ou extrémités de son axe).